

TARAXACUM HYBERNUM И LACTUCA SATIVA – АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА

А. И. ЦЕНЕВ¹, Д. А. БУРАНГУЛОВ², Е. Б. НИКОЛАЕВА³, А. А. БЕРЕЗИН⁴, Б. Р. КУЛУЕВ⁵

¹ alexcenev2011@gmail.com, ² burangulovdanis1@gmail.com, ³ nikl.ekaterina@yandex.ru,

⁴ advskills_s@mail.ru, ⁵ kuluev@bk.ru

^{1, 2} Республиканская полилингвальная многопрофильная гимназия № 2 Смарт

^{3, 4, 5} Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН

Аннотация. Главным источником натурального каучука в мире является *Nevea brasiliensis*, но ввиду уязвимости данного дерева перед грибковыми заболеваниями. Представляет большой интерес поиск других видов растений, способных к накоплению высокополимерного каучука. Перспективными каучуконосами являются одуванчик осенний *Taraxacum hybernum* и латук посевной (*Lactuca sativa*). Целью исследования была оценка содержания каучука у мутантных форм *Taraxacum hybernum*, полученных ранее методом химического мутагенеза, и у нескольких сортов растений латука посевного *Lactuca sativa*. Многие мутантные формы одуванчика осеннего характеризовались достоверным увеличением содержания каучука, по сравнению с диким типом. Мутантная линия № 8 одуванчика осеннего отличилась двухкратным увеличением содержания каучука в корнях по сравнению с растениями дикого типа. Из четырех проанализированных сортов латука посевного наибольшее содержание каучука было характерно для сорта Умка. Мутантная линия № 8 одуванчика осеннего и сорт Умка латука посевного были отобраны для дальнейшего анализа молярной массы каучука.

Ключевые слова: *Nevea brasiliensis*; *Taraxacum hybernum*; *Lactuca sativa*; каучук.

ВВЕДЕНИЕ

Натуральный каучук представляет собой полимер, состоящий из цис-1,4-полиизопрена, является очень важным сырьем, используемым для производства более 50 000 изделий [1] и особо ценится в таких отраслях, как транспорт, медицина и оборона [2]. По литературным данным, каучук способны синтезировать более 2500 видов двудольных растений [3], однако не более 10 видов растений были признаны источником высококачественного каучука с большой молекулярной массой, которые можно использовать в производственных масштабах. Наиболее известные из них это гевея бразильская (*Nevea brasiliensis*), гваюла (*Parthenium argentatum*), фикус каучуконосный (*Ficus elastica*) и одуванчик кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz*) [4, 5]. При этом лишь *N. brasiliensis*, культивируемое в основном в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, является источником почти всего натурального каучука в мире [6]. Так как этот вид деревьев уязвим перед различными грибковыми заболеваниями, повышается актуальность поиска альтернативных источников каучука. Одним из примеров таких растений является комплекс двух очень близких видов крымских одуванчиков – *Taraxacum hybernum* и *Taraxacum robedimovae*, известных под общим названием крым-сагыз, имеющих весьма привлекательную форму и массу корней для доместикации и накапливающих в своих корнях высокополимерный каучук, почти не уступающий по качеству каучуку кок-сагыза и

гевей бразильской [5]. Т. *Hybernum*, также известный под названием одуванчик осенний, имеет наиболее привлекательную форму корней, но при однолетней культуре накапливает не более 5 % каучука на сухую массу корня [5]. С целью увеличения генетического разнообразия образцов одуванчика осеннего нами были проведены эксперименты по химическому мутагенезу этого растения и получены семена мутантных растений. Другая альтернатива – это растения рода *Lactuca*, наиболее известным из которых является салат-латук или латук посевной (*Lactuca sativa*), считается многообещающим в качестве сельскохозяйственной культуры умеренного пояса для производства не только листовой зелени, но и высококачественного каучука [7]. Целью исследования была оценка содержания каучука у мутантных растений Т. *Hybernum*, полученных ранее методом химического мутагенеза, и у нескольких сортов растений латука посевного *L. sativa* из коллекции ВИР при их выращивании на опытном участке в условиях открытого грунта в г. Уфе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Семена Т. *hybernum* были любезно предоставлены А. В. Фатерыгой (Карадагская научная станция, Республика Крым, Россия). Мутантные формы Т. *hybernum* были получены ранее в лаборатории молекулярной биоинженерии Уфимского университета науки и технологий с использованием химического мутагена азида натрия. Для мутагенеза был использован раствор азида натрия в фосфатном буфере (рН 3) с концентрацией действующего вещества 10 мМ. Время инкубации семян в растворе мутагена составило 4 часа (неопубликованные данные). В работе использовали растения мутантного поколения М1, происходящих от 8 разных растений поколения М0 крым-сагыза. Потомки этих восьми растений были пронумерованы от 1 до 8. Семена четырех сортов *L. sativa* были предоставлены Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР): сорта Розелла (К-2292), Умка (Вр.к.-3310), Витаминный (Вр.к.-2867), Листовой №22 (К-2360), где в скобках указаны каталожные номера ВИР. Семена одуванчика осеннего и латука посевного проращивали в лабораторных условиях на универсальном грунте Просто (Veltorf, Россия) при искусственном освещении около 5000 люкс при температуре около +25°C в течение двух месяцев. Далее полученную рассаду высаживали на опытном участке Уфимского федерального исследовательского центра РАН и выращивали растения еще два месяца в условиях открытого грунта (г. Уфа). При отсутствии дождей более одной недели, осуществляли полив в среднем 1 раз в неделю. Через два месяца выращивания растения выкапывали, отмывали их от почвы, сушили в течение 10 дней. Далее высушенные корни растений использовали для выделения из них каучука. Для этого высушенные корни измельчали при помощи лабораторной мельницы A11 Basic (ИКА, Китай) и полученный растительный порошок переносили в предварительно взвешенные микропробирки типа Eppendorf объемом 2 мл. Измеряли массу растительного порошка в микропробирке (диапазон массы растительного порошка на 1 микропробирку составил от 0,05 до 0,1 г). Для экстракции каучука использовали полярные растворители – дистиллированную воду и ацетон, а также неполярный растворитель гексан [8, 9]. Вся процедура экстракции каучука проводилась при комнатной температуре. Итак, к растительному порошку добавляли 1 мл дистиллированной воды, образцы перемешивали на ротомиксе в течение 30 минут, центрифугировали при 10 000 g в течение 20 минут и удаляли надосадочную жидкость. Процедуру водной экстракции проводили трижды для более полного удаления всех водорастворимых компонентов. Затем к образцам добавляли 1 мл ацетона и перемешивали в течение 4 часов на ротомиксе, центрифугировали при 10 000 g в течение 20 минут, супернатант также удаляли. Таким образом, из образцов убрали все водорастворимые соединения, а также смолы, растворимые в ацетоне, а каучук продолжал оставаться в пробирке, как это было показано ранее на растениях из разных семейств [8, 9]. Последующую экстракцию каучука проводили с помощью гексана, который добавляли в количестве 1 мл, образцы перемешивали в течение 16 часов. Затем образцы центрифугировали при 10 000 g в течение 20 минут, супернатант с каучуком переносили в новые предварительно взвешенные микропробирки объемом 2 мл. Гексановый экстракт (раствор каучука) высушивали в термо-

стате при температуре +50°C в течение 2,5 часов в вытяжном шкафу. Определяли массу высушенных экстрактивных веществ, состоящих преимущественно из каучука. Результаты представляли в виде массовой доли каучука в % от сухой массы растительного материала. Для каждого варианта опыта выборка составила 5. Достоверность различий оценивали с помощью U-критерия Манна–Уитни (для одуванчика осеннего) и множественного сравнения средних по тесту Duncan (для латука посевного).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У контрольных растений одуванчика осеннего содержание каучука в корнях в среднем составило 3,3%, что в целом находится в том же диапазоне значений, который нами был определен в более ранних исследованиях [5]. Наибольшее содержание каучука было характерно для линии 8 и составило в среднем 6,1% (рис. 1), что почти в два раза превышает показатели контроля. На втором месте оказалась линия 2 с содержанием каучука 5,8% (см. рис. 1). В общем достоверно большее содержание каучука по сравнению с контролем было показано для мутантных линий 1, 2, 3, 7 и 8. Показатели линий 4 и 5 достоверно не отличались от контроля. А вот содержание каучука у линии 6 было достоверно меньше, чем у контроля. Таким образом, общая тенденция заключалась в том, что у мутантных форм изменялось содержание каучука в корнях, по сравнению с не мутантными растениями, причем в основном в большую сторону.

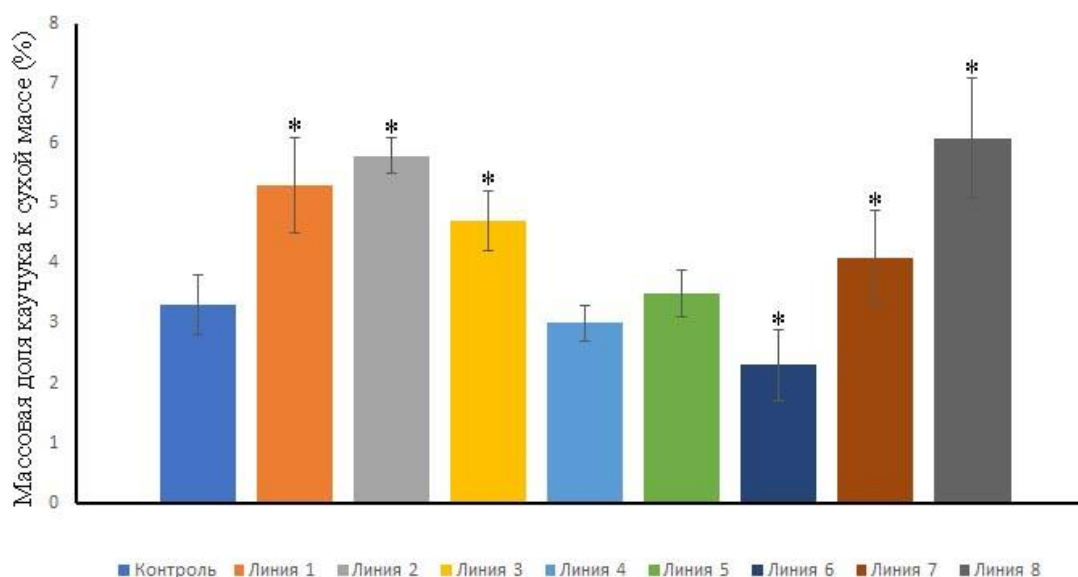


Рис. 1. Содержание каучука в корнях мутантных форм одуванчика осеннего на сухую массу корня (%). Контроль – не мутантная форма (дикий тип), линии 1–8 – мутантные растения одуванчика осеннего поколения М1. Звездочки (*) указывают на достоверное различие данных между контролем и мутантными растениями ($P \leq 0.05$)

В корнях латука накапливалось в среднем в 3 раза больше каучука, чем у одуванчика осеннего (рис. 2). Наибольшим содержанием каучука в корнях характеризовался сорт Умка (в среднем 15,95 %). На втором месте оказался сорт Листовой с содержанием каучука в среднем – 12,8 % (см. рис. 2). Сорта Розелла и Витаминный достоверно не отличались друг от друга по содержанию каучука, но уступали сортам Умка и Листовой.

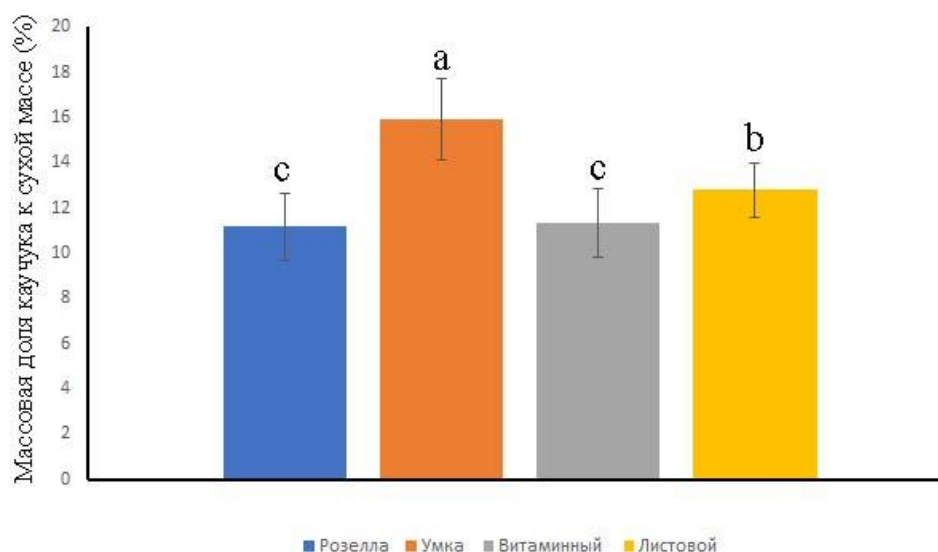


Рис. 2. Содержание каучука в корнях различных сортов латука посевного на сухую массу (%). Буквами a, b, c обозначены достоверные изменения показателя по результатам множественного сравнения средних по тесту Duncan ($P \leq 0.05$)

Одуванчик осенний является перспективным каучуконосом прежде всего благодаря высокой молекулярной массе каучука, которая у однолетней культуры составляет около 1 млн г/моль. В то же время данный вид одуванчиков уступает кок-сагыз по содержанию каучука, который при однолетней культуре накапливает в среднем в 2 раза больше каучука [5]. *T. hybernum* является апомиктичным видом, потому характеризуется довольно низким уровнем генетического полиморфизма [10]. Исходя из этого с целью увеличения генетического разнообразия у образцов *T. hybernum* нами с использованием азидата натрия были получены мутантные формы этого одуванчика. Результаты исследования показали, что у мутантных форм одуванчика осеннего чаще всего наблюдается увеличение содержания каучука, причем у одной из линий было обнаружено двухкратное увеличение содержания каучука по сравнению с контролем. В связи с этим представляет интерес определение молярной массы каучука у мутантных растений, которая также может изменяться в сторону увеличения. Интересно отметить, что нами ранее были проведены эксперименты по химическому мутагенезу одуванчика *Taraxacum brevicorniculatum*, и также были получены растения с двухкратно повышенным содержанием каучука [11]. Это говорит о высоком потенциале химически индуцированного мутагенеза для изменения в биосинтезе и накоплении каучука.

Латук посевной широко используется в пищевых целях, но имеются данные, что он также способен к накоплению высококачественного каучука с молярной массой около 1 млн г/моль [12], приближаясь по данному показателю к гевеи бразильской. Салат-латук характеризуется обилием сортов, которые могут отличаться по каучуконосности. Из четырех проанализированных нами сортов латука посевного наибольшее содержание каучука было показано для сорта Умка. По данному показателю этот сорт салата-латука превосходил не только одуванчик осенний, но и кок-сагыз, причем более чем в 2 раза [5]. Такие высокие значения содержания каучука кок-сагыз и одуванчик осенний достигают лишь при двухлетней культуре. А латук посевной достиг такого содержания каучука уже в первый год выращивания на открытом грунте. Безусловно, выращивание однолетних культур более выгодно, чем двухлетних, к тому же кок-сагыз и крым-сагыз имеют южное происхождение и в условиях Башкирии довольно часто зимой погибают. Это делает труднодостижимым двухлетнюю культуру каучуконосных одуванчиков в условиях Башкирии, тогда как салат-латук накапливает достаточное количество каучука в течение летнего сезона. Разные сорта латука посевного также могут

отличаться друг от друга по молярной массе каучука. Поэтому представляет интерес определение полимерности каучука у разных сортов *L. sativa*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом химического мутагенеза получены мутантные формы одуванчика осеннего с более высоким содержанием каучука, которые могут быть использованы для дальнейшего отбора наиболее высокоурожайных форм. Одна из мутантных линий одуванчика осеннего отличилась двухкратным увеличением содержания каучука в корнях по сравнению с растениями дикого типа. Корни латука посевных сортов Розелла (К-2292), Умка (Вр.к.-3310), Витаминный (Вр.к.-2867) и Листовой №22 (К-2360) в течение летнего сезона в условиях Башкирии накапливают каучук в 2 раза больше, чем кок-сагыз, и в 3 раза больше, чем одуванчик осенний. Наибольшее содержание каучука в корнях было характерно для сорта Умка, который может представлять интерес не только как листовая, но и каучуконосная культура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Panara F., Lopez L., Daddiego L., Fantini E., Facella P., Perrotta G. Comparative transcriptomics between high and low rubber producing *Taraxacum kok-saghyz* R. plants // BMC genomics. 2018. Vol. 19. No. 1. P. 1–14.
2. Cherian S., Ryu S. B., Cornish K. Natural rubber biosynthesis in plants, the rubber transferase complex, and metabolic engineering progress and prospects // Plant Biotechnology Journal. 2019. Vol. 17. No. 11. P. 2041–2061.
3. Cornish K., Kopicky S. L., McNulty S. K., Amstutz N., Chanon A. M., Walker S., Kleinhenz M. D., Miller A. R., Streeter J. G. Temporal diversity of *Taraxacum kok-saghyz* plants reveals high rubber yield phenotypes // Biodiversitas. 2016. Vol. 17. P. 847–856.
4. Nowicki M., Zhao Y., Boggess S. L., Fluess H., Paya-Milans M., Staton M. E., Houston L. C., Hadziabdic D., Trigiano R. N. *Taraxacum kok-saghyz* (rubber dandelion) genomic microsatellite loci reveal modest genetic diversity and cross-amplify broadly to related species // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. 1915.
5. Kuluev B., Fateriya A., Zakharova E., Zakharov V., Chemeris A. Pinkish-achened form of *Taraxacum hybernum* Steven – a source of inulin and high molar mass natural rubber // Botany Letters. 2022.
6. Ahrends A., Hollingsworth P. M., Ziegler A. D., Fox J. M., Chen H., Su Y., Xu J. Current trends of rubber plantation expansion may threaten biodiversity and livelihoods. // Global Environmental Change. 2015. Vol. 34. P. 48–58.
7. Cherian S., Ryu S. B., Cornish K. Natural rubber biosynthesis in plants, the rubber transferase complex, and metabolic engineering progress and prospects // Plant Biotechnology Journal. 2019. Vol. 17. No. 11. P. 2041–2061.
8. Ramsauer J., Polzer P., Kunz W. Isolation and investigation of natural rubber latex from *Taraxacum kok-saghyz* with a high solid content // ACS Agricultural Science and Technology. 2022. Vol. 2. No. 2. P. 296–301.
9. Ramirez-Cadavid D., Cornish K., Michel F. C. *Taraxacum kok-saghyz*: compositional analysis of a feedstock for natural rubber and other products // Industrial Crops Products. 2017. Vol. 107. P. 624–640.
10. Кулуев Б. Р., Фатерыга А. В., Кулуев А. Р., Михайлова Е. В., Чемерис А. В. Молекулярно-генетическое исследование одуванчика осеннего (*Taraxacum hybernum* Steven) с использованием SSR-, RAPD- и ISSR-маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Том. 22. №1. С. 102–107.
11. Кулуев Б. Р., Хафизов Р. К., Якупова А. Б., Чемерис А. В. Химический мутагенез одуванчика *Taraxacum brevicorniculatum* при помощи азида натрия // Биомика. 2020. Т. 12. №2. С. 211–217.
12. Kwon M., Hodgins C. L., Salama E. M., Dias K. R., Parikh A., Mackey A. V., Catenza K. F., Vederas J. C., Ro D. K. New insights into natural rubber biosynthesis from rubber-deficient lettuce mutants expressing goldenrod or guayule cis-prenyltransferase // New Phytologist. 2023. Vol. 239. No. 3. P. 1098–1111.

ОБ АВТОРАХ

ЦЕНЕВ Александр Ильич, ученик 7-го класса Республиканской полилингвальной многопрофильной гимназии № 2 Смарт г. Уфы, alexcenev2011@gmail.com

БУРАНГУЛОВ Данис Азатович, ученик 7-го класса Республиканской полилингвальной многопрофильной гимназии № 2 Смарт г. Уфы, burangulovdanis1@gmail.com

НИКОЛАЕВА Екатерина Борисовна, аспирант Института биохимии и генетики УФИЦ РАН, +73472684255, nikl.ekaterina@yandex.ru.

БЕРЕЗИН Артем Александрович, лаборант-исследователь Института биохимии и генетики УФИЦ РАН, advskills_s@mail.ru

КУЛУЕВ Булат Разяпович, доктор биологических наук, профессор АН РБ, ведущий научный сотрудник Института биохимии и генетики УФИЦ РАН, +73472684255, kuluev@bk.ru

METADATA

Title: *Taraxacum hybernum* and *Lactuca sativa* – alternative sources of natural rubber

Author: Tsenev A. I.¹, Burangulov D. A.², Nikolaeva E. B.³, Berezin A. A.⁴, Kuluev B. R.⁵

Affiliation:

^{1,2} Republican multilingual multidisciplinary gymnasium No. 2 Smart,

^{3,4,5} Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

Email: ¹alexcenov2011@gmail.com, ²burangulovdanis1@gmail.com, ³nikl.ekaterina@yandex.ru, ⁴advskils_s@mail.ru, ⁵kuluev@bk.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology) no. 3 (34), pp. 24-29, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The main source of natural rubber in the world is *Hevea brasiliensis*, but due to the vulnerability of this tree to fungal diseases, it is of great interest to search for other plant species capable of accumulating high molar mass rubber. Promising rubber-bearing plants are *Taraxacum hybernum* and *Lactuca sativa*. The aim of the study was to assess the rubber content in mutant *Taraxacum hybernum* plants generated earlier by chemical mutagenesis and in several varieties of *Lactuca sativa* plants. Many mutant forms of *Taraxacum hybernum* were characterized by a reliable increase in rubber content compared to the wild type. Mutant line No. 8 of *Taraxacum hybernum* was distinguished by a two-fold increase in rubber content in the roots compared to wild-type plants. Of the four analyzed varieties of *Lactuca sativa*, the highest rubber content was characteristic of the Umka variety. Mutant line No. 8 of *Taraxacum hybernum* and the Umka variety of *Lactuca sativa* were selected for further analysis of the molar mass of rubber.

Key words: *Hevea brasiliensis*; *Taraxacum hybernum*; *Lactuca sativa*; rubber.

About authors:

TSENEV Alexander Ilyich, Republican multilingual multidisciplinary gymnasium No. 2 Smart, st. Evgenia Stolyarova, 10, Ufa.

BURANGULOV Danis Azatovich, Republican multilingual multidisciplinary gymnasium No. 2 Smart, st. Evgenia Stolyarova, 10, Ufa, burangulovdanis1@gmail.com.

BEREZIN Artem Alexandrovich, Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, st. Prospect Oktyabrya, 71, advskils_s@mail.ru.

NIKOLAEVA Ekaterina Borisovna, Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, st. Prospect Oktyabrya, 71, nikl.ekaterina@yandex.ru.

KULUEV Bulat Razyapovich, Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, st. Prospect Oktyabrya, 71, kuluev@bk.ru, ORCID ID 0000-0002-1564-164X, Web of Science Researcher ID N-3927-2016, Scopus Author ID 23094029400.